

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Tuotekehitys

2015

Jere Lahtinen

TYÖOHJE ANSYS WORKBENCHIN KÄYTÖSTÄ



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jere Lahtinen

TYÖOHJE ANSYS WORKBENCHIN KÄYTÖSTÄ

Opinnäytetyö tehtiin Sandvik Mining and Construction Oy:n Turun tehtaassa tuotekehitysosastolle. Sandvik Mining and Construction Oy valmistaa Turun tehtaalla lastaus- ja kuljetuskoneita maanalaisiin tehtäviin.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä suunnittelijoille työohje lujuuslaskennasta ja ANSYS Workbench -ohjelmasta. Aikaisemmin suunnittelijoiden käytössä ei ollut näin laajaa työohjetta ja ohjelmiston käyttöön kasvoi suuri kynnys sen lukemattomien ominaisuuksien vuoksi. Työohjeen laajuus tulisi olla noin 25–30 sivua sisältäen tärkeimpien työkalujen ja ominaisuuksien esittelyn.

Opinnäytetyö aloitettiin tutustumalla tarvittaviin ohjelmistoihin esimerkki kappaleiden avulla, josta lähdettiin rakentamaan työohjetta. Työohjeessa käytiin kohta kohdalta läpi tarvittavat toimenpiteen onnistuneen lujuuslaskenta-analyysin tekemiseen.

Alussa asetettuihin työohjeen tavoitteisiin päästiin muilta osin, mutta sivumäärässä ei päästy tavoitteeseen. Sivumäärä kasvoi noin viiteenkymmeneen, ja ilman aiheen rajoituksia sivumäärä olisi voinut kasvaa vielä paljon suuremmaksi.

ASIASANAT:

Lujuuslaskenta, ANSYS, ANSYS workbench, työohje

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and production Engineering | Product Development

2015 | 31

Instructor Tommi Metso

Jere Lahtinen

INSTRUCTIONS FOR ANSYS WORKBENCH

The thesis was made for Sandvik Mining and Construction Oy factory which is located in Turku. In Turku Sandvik Mining and Construction Oy produce underground machines for loading and hauling.

The purpose of this thesis was made instructions for the designers of strength of materials and how to use ANSYS Workbench program. Earlier designers did not have any instructions for the program. Aim for the instruction number of pages was 25-30 including instructions of most important tools and features.

The instruction was started by learning how to use necessary programs for FE-analysis. When programs were familiar the main purpose was to write clear instruction about how to do FE-analysis with ANSYS Workbench.

The aims of the instruction were achieved except the final number of pages. The number of pages increased to about 50 and without any subject delimitations the number of pages could have grown much larger.

KEYWORDS:

Strength of materials, ANSYS, ANSYS Workbench, instruction

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	5
1.1 Tausta	5
1.2 Tavoite	5
1.3 Työn toteutus	5
1.4 Yritysesittely	6
1.4.1 Sandvik Suomessa	8
1.4.2 Sandvik Turku	8
2 LUJUUSLASKENTA	10
2.1 Historia	10
2.2 Elementti menetelmä	10
2.3 ANSYS	12
2.3.1 ANSYS Workbench	12
3 TYÖOHJE	13
3.1 Työn aloitus	13
3.2 Työohjeen tekeminen	14
4 YHTEENVETO	18
LÄHTEET	20

LIITTEET

Liite 1. Pulttiliitos.

KUVAT

Kuva 1. Sandvik'in liiketoiminta-alueet (Sandvik 2015).	7
Kuva 2. Turun tehtaan tuotteita. (BIA Group 2015).	9
Kuva 3. Sandvik Mining and Construction Turun tehdas. (Sandvik Intranet 2015).	9
Kuva 4. ANSYS Workbench	12
Kuva 5. Ensimmäinen versio työohjeen sisällysluettelosta.	14
Kuva 6. Toinen versio työohjeen sisällysluettelosta	15
Kuva 7. Valmis työohjeen sisällysluettelo.	17

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Opinnäytetyö tehdään Sandvik Mining and Construction Oy:n Turun tehtaassa tuotekehityksen suunnittelijoiden lujuuslaskennan tueksi. Tällä hetkellä Turun tehtaassa suunnittelijat eivät työskentele päivittäin lujuuslaskelmien parissa, joten kynnys lujuuslaskentaohjelman käyttämiseen kasvaa. Lisäksi ohjelman käyttäminen ei ole kovinkaan yksinkertaista, mikä kasvattaa kynnystä entisestään.

Turun tehtaalla lujuuslaskennassa käytetään Ansys Workbench -ohjelmistoa ja opinnäytetyön tarkoituksena onkin tehdä helppolukuinen työohje ohjelman käytöstä suunnittelijoille. Ohjelmiston kehittäjällä on olemassa todella kattava kirjasto työohjeita ohjelman käytöstä nettisivuillaan. Ongelmana on kuitenkin työohjeiden runsaus. Työohjekirjaston laajuuden vuoksi sieltä on hyvin työlästä etsiä yksittäisen työkalun toimintaan liittyvää tietoa.

Työohje on salaista tietoa lukuun ottamatta liitteestä 1 löytyvää pultiliitosesimerkkiä, joten tässä opinnäytetyössä ei käsitellä työohjetta muilta osin.

1.2 Tavoite

Työn tavoitteena on luoda työohje Ansys Workbench ohjelman käytöstä. Työohjeen tulisi olla selkeä sekä helppolukuinen ja noin 25–30 sivun mittainen. Työohjeen tulee sisältää olennainen tieto siitä, miten Ansys Workbench -lujuuslaskentaohjelmaa käytetään.

1.3 Työn toteutus

Työskentely aloitettiin tutustumalla Sandvik Mining and Construction Turun tehtaassa tuotevalikoimaan ja selaamalla aikaisemmin tehtyjä lujuuslaskentaraaportteja, jotta tiedettäisiin millaisia lujuuslaskelmien tuli olla. Tämän jälkeen valitsin

yhden olemassa olevan kappaleen lastauskoneen eturungosta, jota käytettiin harjoituskappaleena tutustuttaessa lujuuslaskentaohjelmistoon. Aluksi kuitenkin, ennen kuin päästiin käsiksi lujuuslaskentaohjelmistoon, kappale piti niin sanotusti siivota. Käytännössä kappaleesta poistetaan kaikki laskennan kannalta turhat geometriat. Varsinkin isoja kappaleita laskettaessa mallin siivoaminen on hyvin tärkeää, koska turhat ja monimutkikkaat geometriat vievät todella paljon tietokoneen laskentatehoa ja laskujen ratkaiseminen kestää useita tunteja tai päiviä kauemmin kuin siivotulla kappaleella.

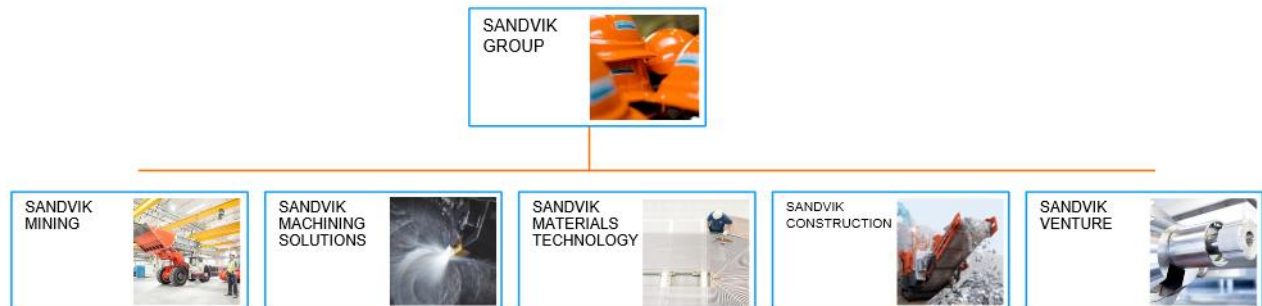
Mallin siivouksen jälkeen päästiin käsiksi itse Ansys Workbench ohjelmistoon ja aloitettiin ohjelmaan tutustuminen. Siivotulla kappaleella tehtiin lukuisia erilaisia kuormitustilanteita, jotta suurin osa ohjelmiston työkaluista tuli tutuiksi. Itse työohjeen kirjoittamisen aloitettiin Ansys Workbenchin tutustumisen jälkeen. Työohjeeseen kirjattiin selityksineen yleisimmät työkalut, joita tarvitaan lujuuslaskenta-analyysin tekemiseen. Työohjeeseen sisällytettiin myös yksi laskenta-esimerkki.

1.4 Yritysesittely

Sandvik AB on vuonna 1862 perustettu korkean teknologian yritys, jonka perustaja oli ruotsalainen Göran Fredrik Göransson. Vuonna 1855 Göransson osti pienen rautaruukin Högbo Brukin ja onnistui ensimmäisenä soveltamaan Bessemer-menetelmää teräksen tuotantoon. Myöhemmin tavattuaan Bessemer-menetelmän kehittäjän, Sir Henry Bessemerin, Göransson osti oikeudet kyseisen menetelmän käyttöön. (Sandvik 2015.)

Sandvik AB työllisti vuonna 2014 yhteensä noin 47 000 henkilöä maailmanlaajuisesti. Sandvik AB on listattu NAS-DAQ Stockholm –pörssiin, ja sen liikevaihto oli vuonna 2014 noin 89 miljardia Ruotsin kruunua. (Sandvik 2015.)

Nykyään Sandvik AB koostuu viidestä eri liiketoiminta-alueesta, jotka ovat Sandvik Mining, Sandvik Machining Solutions, Sandvik Materials Technology, Sandvik Construction sekä Sandvik Venture. Kuvassa 1 on esitetty Sandvikin liiketoiminta-alueet. (Sandvik 2015.)



Kuva 1. Sandvik'in liiketoiminta-alueet (Sandvik 2015).

Sandvik Mining on alallaan johtava kaivosteollisuuden laitteiden, työkalujen ja huolto palveluiden tuottaja. Sandvik Miningin tuotevalikoimaan kuuluu muun muassa, poralaitteet, murskaimet sekä lastaus ja kuljetuslaitteet maanpäällisiin sekä maanalaisiin tarpeisiin. Vuonna 2014 Sandvik Mining työllisti 11 800 henkilöä ja sen myynti oli noin 27 miljardia Ruotsin kruunua. (Sandvik 2015.)

Sandvik Machining Solutions on markkinoiden johtava metallintyöstön työkalujen ja järjestelmien valmistaja. Tuotteiden valmistuksessa käytetään kovametal-leja ja muita kovia aineita, kuten teollisuustimanttia ja erikoiskeraameja. Vuonna 2014 Sandvik Machining Solutions työllisti 18 900 henkilöä ja myynti oli noin 31 miljardia Ruotsin kruunua. (Sandvik 2015.)

Sandvik Materials technology on markkinajohtaja ruostumattomien terästen ja erikoisseosten valmistuksessa sekä kehityksessä. Vuonna 2014 Sandvik Materials technology työllisti 6 900 henkilöä ja myynti oli noin 15 miljardia Ruotsin kruunua. (Sandvik 2015.)

Sandvik Construction valmistaa laitteita, työkaluja ja huoltopalveluita rakennus-teollisuuden eri aloille, kuten tunnelin louhintaan, yhdyskuntarakentamiseen, purkuun ja kierrätykseen. Tuotevalikoimaan kuuluvat muun muassa porakalus-to, poravaunut, iskuvasarat, kiinteät ja mobiilit murskaus- sekä seulontaratkaisut

sekä maanalaisen rakentamisen poralaitteet, mekaanisen louhinnan laitteet, lastaus- ja kuljetuslaitteet ja näihin liittyvät palvelut. Vuonna 2014 Sandvik Construction työllisti 2 800 henkilöä ja sen myynti oli noin 8,5 miljardia Ruotsin kruunua. (Sandvik 2015.)

Sandvik Venture:sin liikeideana on luoda mahdollisimman hyvä ja tuottava kasvuympäristö nopeasti kasvaville liikeideoille. Tuotealueita ovat muun muassa Sandvik Process Systems, Sandvik Hyperion ja Wolfram. Vuonna 2014 Sandvik Materials technology työllisti 4 100 henkilöä ja myynti oli noin 7,7 miljardia Ruotsin kruunua. (Sandvik 2015.)

1.4.1 Sandvik Suomessa

Suomessa toimii Sandvik Mining and Construction Oy, ja sillä on toimipisteet Tampereella, Turussa, Lahdessa, Hollolassa ja Vantaalla. (Sandvik 2014).

Tampereen tehtaalla valmistetaan avolouhintalaitteita, tunnelinporauslaitteita, kaivos- ja tuotantoporauslaitteita sekä pultituslaitteita. Turun tehtaan vastuulla on kuljetus- ja lastauskoneet. Lahdessa valmistetaan hydraulisia iskuvasaroita ja leikkurimurskaimia. Hollolassa suunnitellaan massatavarankäsittelyyn liittyviä projekteja, ja Vantaalla on myyntikonttori, jonka tuotevalikoimaan kuuluvat: ruostumattomat putket, tankoteräkset, nauhat, langat, hitsauslisäaineet ja sähkövastusmateriaalit sekä kovametallityökalut sorvaukseen, jyrsintään ja poraukseen. (Sandvik 2014.)

1.4.2 Sandvik Turku

Turun tehdas työllisti vuonna 2014 hieman alle 500 henkilöä. Tamrock aloitti 1970-luvulla Toro-lastauskoneiden valmistuksen Turussa. Vuonna 1997 Sandvik osti koko Tamrockin osakekannan, jolloin Turun tehtaan nimeksi muutettiin Sandvik Mining and Construction. Turun tehtaalla valmistetaan nykyään lastaus- ja kuljetuskoneita. (Sandvik 2014.)



Kuva 2. Turun tehtaan tuotteita. (BIA Group 2015).



Kuva 3. Sandvik Mining and Construction Turun tehdas. (Sandvik Intranet 2015).

2 LUJUUSLASKENTA

2.1 Historia

Ennen teoreettisen lujuuslaskennan kehittymistä rakennettiin monenlaisia rakennelmia, kuten pyramideja, ainoastaan kokemuspohjalta, joka periytyi sukupolvelta toiselle. Leonardo da Vinci oli ensimmäinen, joka käytti lujuuslaskentaa teoreettisessa mielessä. Muistikirjoissaan da Vinci esitti palkkien ja ristikoiden kantokykyyn vaikuttavia tekijöitä, käyttämättä kuitenkaan analyttistä menetelmää. (Outinen & Salmi 2004, 21–22.)

Ensimmäisen systemaattisen lujuuslaskennan teorian kehitti Galileo Galilei kirjoittaessaan teoksen: ”Keskusteluja ja matemaattisia todistuksia, jotka koskevat kahta uutta, mekaniikkaan ja paikallisliikkeisiin kuuluvaa tiedettä”. Teoksessaan Galileo Galilei loi analyttisen ja kokeellisen perustan lujuusopillisille tarkasteluille. (Outinen & Salmi 2004, 21–22.)

2.2 Elementtimenetelmä

Lujuuslaskennan tehtävänä on ratkaista, miten kappaleet kestävät rasitusta, muodonmuutosta tai siirtymää. Lineaarisissa ja yksinkertaisissa tapauksissa ongelmat voidaan ratkaista käsin laskemalla ja käyttämällä yleistä yhtälöjärjestelmää. Mutkikkaampia kappaleita ratkaistaessa joudutaan tyytymään likimääräisiin ratkaisuihin, koska ratkaisua ei löydetä tavanomaisten matemaattisten funktioiden avulla. Näitä ongelmatilanteita varten on kehitetty numeerisia ratkaisumenetelmiä. (Lähtenmäki. 1-2.)

Yleisimmin käytetty numeerinen ratkaisumenetelmä on elementtimenetelmä. Se otettiin käyttöön 1950-luvulla lentokoneteollisuudessa Yhdysvalloissa, josta se levisi nopeasti myös muille teollisuuden aloille. Elementtimenetelmän lyhenne on FEM, joka tulee englanninkielisistä sanoista Finite Element Method. Usein näkee käytettävän myös FEA-lyhenteen, joka tulee sanoista Finite Element

Analysis, ja sillä tarkoitetaan elementtimenetelmällä suoritettavaa laskentaa. (Lähteenmäki. 1-2)

Tietotekniikan kehittyessä 1960- ja 1970-luvuilla alkoi ilmestyä FEM-ohjelmia, joilla pystyttiin ratkaisemaan lineaarisia tehtäviä. Aluksi ohjelmistot olivat täysin numeerisia, jolloin ne eivät olleet kovin käyttäjäystävällisiä. Ajan kuluessa ohjelmat ovat siirtyneet symboliseen käyttöliittymään ja niillä voidaan nykyään tarkastella myös kappaleiden ja materiaalien epälineaarista käyttäytymistä. (Lähteenmäki. 1-2)

Elementtimenetelmän käyttö ei rajoitu pelkästään lujuuslaskentaan, vaan sillä voidaan tutkia myös muita teknillisen laskennan alueita. Lämmönsiirto, virtausoppi ja sähkötekniikka ovat vain muutamia esimerkkejä, joihin elementtimenetelmää voidaan hyödyntää. (Lähteenmäki. 1-2)

Elementtimenetelmän nimi tulee siitä, että kyseisessä menetelmässä kappale jaetaan pieniin elementteihin, joista koostuvaa verkkostoa kutsutaan elementtiverkoksi. Monimutkikas geometria jaetaan verkkoelementeillä äärellisiin osiin ja elementit kiinnittyvät toisiinsa solmupisteistä. Kolmiulotteisissa kappaleissa käytetään neljä-, viisi- tai kuusitahokkaita. Näitä sanotaan tetraedri-, kiila- ja tiiliskivielementeiksi. Nämä mainitut elementtityypit ovat yleisempiä kolmiulotteisissa kappaleissa, ja näiden lisäksi on lukuisia muita elementtityyppejä, muun muassa pinta- ja rautalankamalleille sekä erikoistapauksia varten. (Lähteenmäki. 1-2)

Geometrian jaottelevien elementtien koko voi vaihdella paljon laskentatavan tai kappaleen ominaisuuksien mukaan, myös kappaleen eri osissa. Elementtiverkkoon voidaan myös yhdistellä erilaisia elementtimalleja, joten verkosta voidaan luoda hyvin yksilöllinen tapauksesta riippuen. Verkkoa ei voida tehdä aina täydellisesti kappaleen muotojen mukaan, joten laskujen ratkaisuihin tulee poikkeamaa, mutta poikkeama on hyvin pieni, jos verkko on tehty huolellisesti ja laskennankannalta järkevästi. (Lähteenmäki. 1-2)

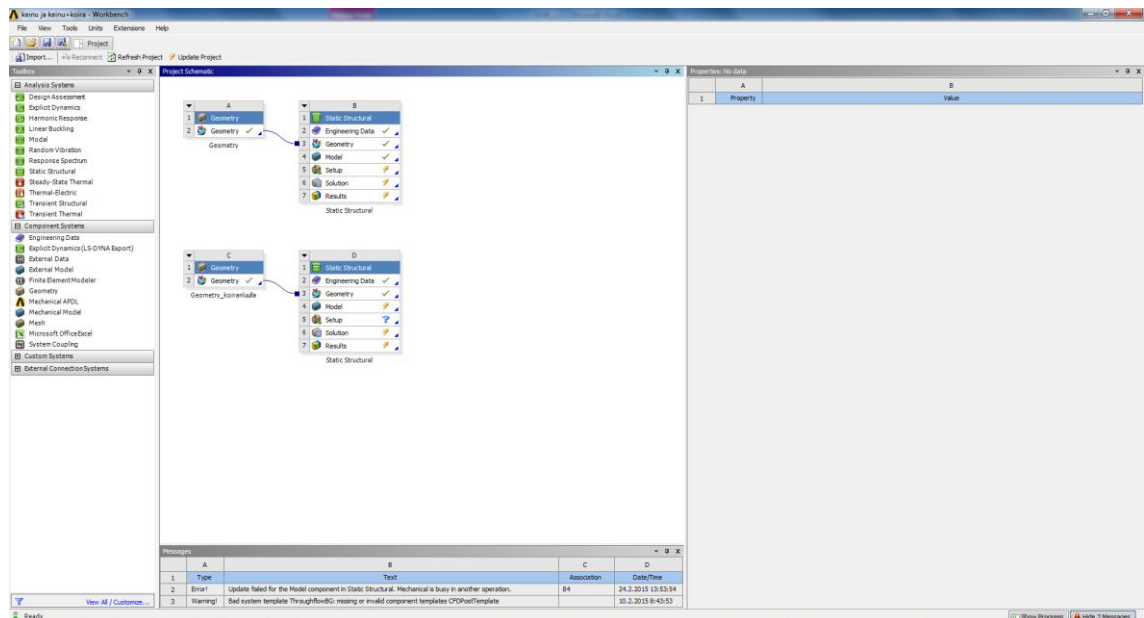
2.3 ANSYS

ANSYS tarjoaa asiakkailleen simulaatio- ja laskentaohjelmia lukuisiin eri tarkoituksiin, kuten lujuuslaskentaan. ANSYS Inc on perustettu 1970-luvulla ja se työllistää tällä hetkellä noin 2600 henkilöä. (ANSYS 2015.)

2.3.1 ANSYS Workbench

ANSYS Workbench on ANSYSin kehittämä työskentely-ympäristö, jonka kautta ainoastaan hallitaan analyysijä. Workbench ei itsessään ole laskentaohjelma, vaan se sisältää tarvittavat ohjelmat laskujen tekemiseen, kuten lujuuslaskennassa käytettävän ANSYS Mechanical -ohjelman. Workbench mahdollistaa monimutkikkaidenkin analyysien teon raahaa ja tiputa -periaatteella. (ANSYS 2009.)

Raahaa ja tiputa -periaate tarkoittaa uusien analyysien luomista vetämällä analyysitaulukosta toiminto ja tiputtamalla se työskentelykenttään. Tällä periaatteella monimutkikkaidenkin analyysien hallinta on helppoa ja selkeää.



Kuva 4. ANSYS Workbench

3 TYÖOHJE

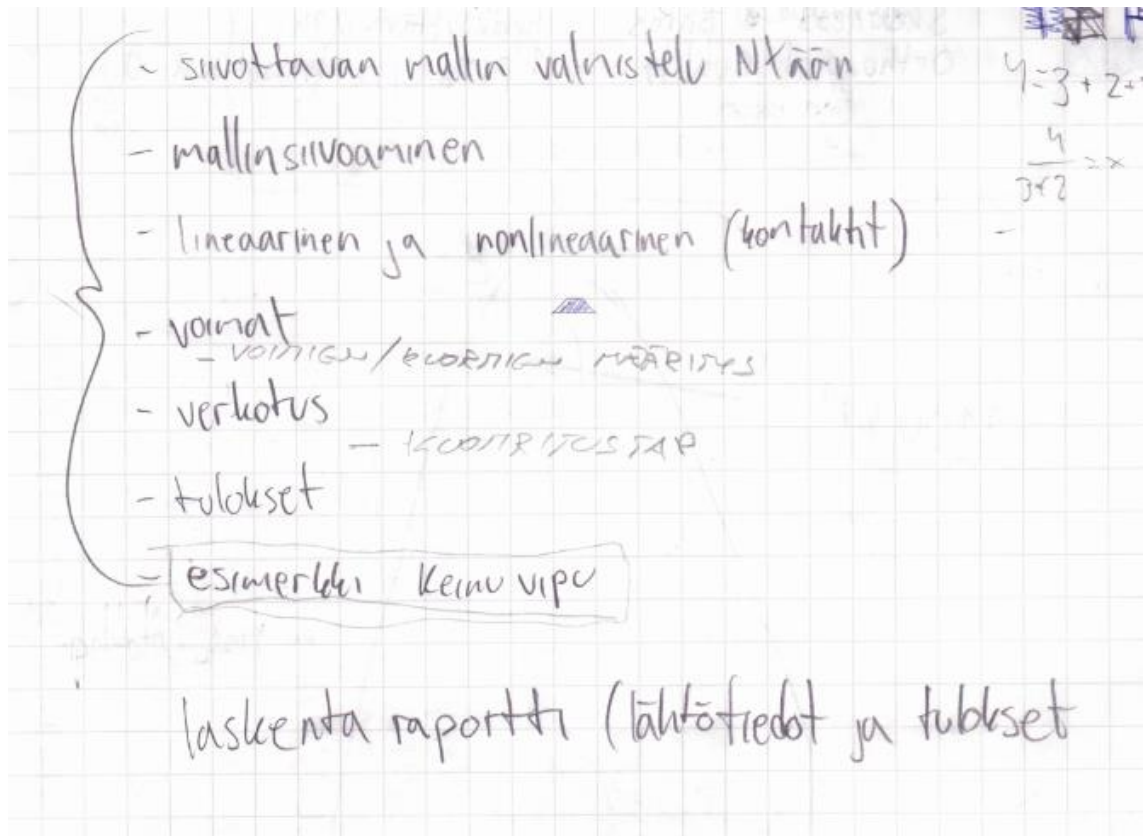
3.1 Työn aloitus

Opinnäytetyön aloituspalaveri pidettiin Sandvikin Turun tehtaan toimitiloissa joulukuussa 2014. Palaverissa sovittiin työn aloituspäivämäärä ja mietittiin työohjeen sisältöä. Palaverissa ei kuitenkaan sovittu pitävästi mitään, vaan ainoastaan pohdittiin mahdollista sisältöä työohjeelle. Tähän palaveriin osallistui opinnäytetyön tekijä ja kaksi opinnäytetyön ohjaajaa Sandvikilta. Opinnäytetyön aloituspäiväksi sovittiin 12.1.2015.

Suuntaviivat työohjeelle olivat alusta asti selkeät. Ohjeen tulisi sisältää ANSYS Workbenchin tärkeimpien työkalujen ja ominaisuuksien selitykset sekä käyttöesimerkkejä ohjelmasta. Sandvikilla ei ollut aikataulun suhteen vaatimuksia, joten aikataulutus voitiin suunnitella opinnäytetyöntekijän aikataulun mukaisesti.

Ensimmäisten viikkojen aikana käytiin muutamia Sandvikin sisäisiä keskusteluja opinnäytetyön tekijän ja yrityksen opinnäytetyön ohjaajien välillä. Keskusteluissa hahmoteltiin tarkemmin millainen työohjeen tulisi olla, ja mitä sen tulisi sisältää. Sandvikilla ei ollut aiemmin tehty samankaltaista työohjetta, joten työohjeen ulkoasun hionta jäi opinnäytetyöntekijän päätettäväksi. Ulkoasu vaatimukseen kuului kuitenkin selkeys ja havainnollisuus, eli työohjeeseen kuului sisällyttää kuvia, joita selitettäisiin tekstin avulla. Koska kyseessä on työohje, tuli sisällön olla myös työskentelyn kannalta loogisesti etenevä.

Ilman minkäänlaista aiheen rajausta työohje olisi laajentunut huomaamatta kohtuuttoman laajaksi. Työohjeen kohderyhmänä ovat kuitenkin suunnittelijat, jotka eivät tee päivittäin lukuuslaskelmia, ja joilla on vain vähän kokemusta ANSYS-ohjelmistosta. Suunnittelijat laskevat lisäksi melko yksinkertaisia lukuuslaskelmia, joihin ei tarvita syvää tietämystä aiheesta, joten työohjeessa tuli ottaa tämä huomioon. Tältä pohjalta lähdettiin rakentamaan alustavaa työohjeen sisällysluetteloa.



Kuva 5. Ensimmäinen versio työohjeen sisällysluettelosta.

3.2 Työohjeen tekeminen

Työohjeen tekeminen aloitettiin tutustumalla lujuuslaskennassa tarvittaviin ohjelmiin. Harjoittelukappaleena ohjelmiin tutustumisessa käytettiin lastaajan eturungon osaa. Suuria kappaleita ANSYS-ohjelmistolla laskettaessa pitää kappaleet ensin niin sanotusti siivota turhista muodoista. Siivouksessa kappaleista täytetään esimerkiksi hitsirailot, poistetaan pienet reiät sekä muodot, jotka eivät ole oleellisia laskennan kannalta. Siivous tehdään 3D-mallinnus ohjelmalla, joka Sandvikilla on Siemensin NX. Opinnäytetyö tekijällä oli aikaisempaa kokemusta kyseisestä 3D-mallinnus ohjelmasta, joten kappaleen siivous hoitui kohtuullisessa ajassa.

Kun kappale oli siivottu, päästiin tutustumaan itse ANSYS-ohjelmistoon. Kyseisestä ohjelmistosta opinnäytetyöntekijällä ei ollut lainkaan aikaisempaa kokemusta, joten kaikki piti opetella alusta asti. ANSYS Workbench -ohjelmisto sisäl-

tää lukuisia toimintoja haastaviinkin laskentatehtäviin, joten alussa ohjelman käyttö oli työlästä ja aikaa vievää.

Työohjeen kirjoittaminen aloitettiin, ensimmäisen sisällysluettelon mukaisesti, kappaleella: "Siivottavan mallin valmistelu NX:ään". Kappaleessa kerrottiin miten tiedostot saatiin sellaiseen muotoon, että niitä voitiin muokata vaikuttamatta alkuperäiseen tiedostoon. Kyseinen aihe päätettiin kuitenkin jättää pois lopullisesta työohjeesta, koska työohjeen kohderyhmänä olevat osaavat käyttää mallinnusohjelmaa ja tietävät, mitä kappaleilla tulee tehdä ennen niiden muokkausta.

Kolmannella viikolla työohjeen aloittamisesta pidettiin virallinen opinnäytetyön aloituspalaveri johon osallistui ohjaaja koulusta, ohjaajat yrityksestä ja opinnäytetyön kirjoittaja. Palaverissa päätettiin opinnäytetyön aikataulusta ja linjattiin tarkemmin, mitä opinnäytetyö tulisi pitämään sisällään. Palaverissa työohjeen sisällysluettelo selkiytyi ja siitä muodostui alla olevan mukainen.



Kuva 6. Toinen versio työohjeen sisällysluettelosta

Työohjetta lähdettiin toteuttamaan sisällysluettelon mukaisesti kohta kerrallaan. Työohjeen kirjoittamisessa käytettiin apuna ANSYSin omia ohjeita ohjelmiston käytöstä ja niistä katsottiin mallia työohjeeseen.

Työohjeen ensimmäisen raakaversion valmistauduttua pidettiin palaveri, jossa käytiin läpi siihen mennessä valmistunut työohje ja mietittiin hyviä ja huonoja puolia. Palaverissa todettiin, että työohje oli liian samankaltainen kuin ANSYSin omat ohjeet ja työohjetta haluttiinkin muuttaa Sandvikin tarpeiden mukaiseksi. Tämä onnistuisi käyttämällä työohjeessa esimerkkeinä Sandvikin omia tuotteita. Palaverissa päätettiin myös, että työohjeeseen tultaisiin lisäämään esimerkit pulttiliitoslaskusta, pintapaineiden tarkastelusta sekä hitsigeometrian mallinnuksesta ja laskemisesta.

Työohjetta lähdettiin muokkaamaan palaverissa sovittujen asioiden mukaisesti. Työn edetessä huomattiin sivumäärän alkavan paisua yli tavoitteena olleen 25–30 sivun, joten jotain piti karsia ja muokata. Myöhemmissä palavereissa työohjeesta päätettiin jättää pois kappale, joka käsittelisi lastaus ja kuljetuskoneisiin yleisimmin kohdistuvia kuormituksia. Aihetta ei ollut kovinkaan helppo tiivistää muutama sivuun, koska jokaisella kappaleella on omat kuormitustapaukset. Lisäksi suunnittelijat eivät laske niin suuria osakokonaisuuksia, että pystyttäisiin helposti määrittelemään tarkat kuormitustapaukset. Pois jätettiin myös kappale liittyen hitsigeometrian mallinnukseen ja laskemiseen, koska niiden käsittely olisi vaatinut enemmän aiheeseen perehtymistä, kuin ohjeeseen oli aiheesta tarkoitus kirjoittaa.

Lopullisesta työohjeen sisällysluettelosta muodostui alla olevan kuvan kaltainen.

Sisällysluettelo

1. MALLIN SIIVOAMINEN	2
2. ANSYS WORKBENCH	8
3. KONTAKTIT.....	10
4. VERKOTUS.....	17
5. VOIMAT JA REUNAEDOT	29
6. TULOKSET	31
8. RAPORTOINTI.....	34
10. ESIMERKKITAPPAUS.....	35
11. LÄHTEET	45

Kuva 7. Valmis työohjeen sisällysluettelo.

4 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä Sandvik Mining and Construction Oy:n Turun tehtaan suunnittelijoiden käyttöön ANSYS Workbenchillä tehtävien lujuuslaskelmien tueksi työohje ohjelman käytöstä. Työohjeen tavoitepituutena pidettiin 25–30 sivua, sisältäen tärkeimpien työkalujen ja ominaisuuksien selitykset esimerkki kuvilla sekä muutaman laskuesimerkin. Opinnäytetyön aikatavoitteena oli saada työ valmiiksi viimeistään toukokuun aikana, eli aikaa tekemiselle oli noin 4kk.

Työohjeeseen ei saatu sisällytettyä kaikkea, mitä alustavasti oli suunniteltu. Suurin haaste liittyi siihen miten asiat voidaan selittää lyhyesti, mutta samalla kattavasti ilman, että lukijan tarvitsee arvuutella, mitä asioilla tarkoitetaan. Työohjeen pituus toi oman haasteensa ja pituus olikin valmiissa versiossa noin 20 sivua alkuperäistä suunnitelmaa pidempi. Työohjeen pituudesta huolimatta siitä tuli mielestäni selkeä ja asiat ovat hyvin löydettävissä ja silmäiltävissä. Aikataulussa pysyttiin, joten opinnäytetyö valmistui ajallaan.

Jälkeenpäin ajateltuna työohjeen laatua olisi saatu parannettua mielestäni muutamilla asioilla. Jos opinnäytetyöntekijällä olisi ollut kokemusta ANSYS ohjelmistosta, ei opetteluun olisi kulunut aikaa, jolloin tämä aika olisi voitu hyödyntää työohjeen kirjoittamiseen. Palavereja olisi voitu myös pitää enemmän, jopa lähes päivittäin. Tällä tavalla kaikki osapuolet olisivat pysyneet prosessissa mukana ja lopputuloksesta olisi saatu karsittua epäolennaisia kohtia. Lisäksi olisi ollut hyödyllistä, jos työohje olisi ollut suunnittelijoiden käytössä ja sitä olisi korjattu heidän palautteensa mukaisesti. Tämä ei kuitenkaan ollut mahdollista aikataulullisista syistä.

Tämän kaltaisen työohjeen kirjoittaminen on hyvin hankalaa, koska kaikkia asioita ei voida ikinä selittää niin hyvin, että kaikki ymmärtäisivät heti mitä asioilla tarkoitetaan. Valmistunut työohje onkin kompromissi useiden tekijöiden suhteen. Tästäkin huolimatta olen tyytyväinen saavutettuun lopputulokseen.

Jatkossa työohjetta voitaisiin kehittää suunnittelijoiden antaman palautteen mukaisesti ja päivittää sitä mukaan, kun ohjelmistot päivittyvät uusiin versioihin.

Opinnäytetyön teko opetti monia asioita luujuuslaskennasta, ja tällä hetkellä ANSYS Workbench -ohjelmiston käyttö luonnistuu lähes ongelmitta, josta on suuri apu tulevaisuutta ajatellen.

LÄHTEET

ANSYS 2009. ANSYS Workbench platform. Viitattu 20.4.2015.

<http://www.ansys.com/staticassets/ANSYS/staticassets/resourcelibrary/brochure/workbench-platform-12.1.pdf>

ANSYS 2015. Viitattu 20.4.2015. <http://www.ansys.com/About+ANSYS>

BIA Group 2015. Viitattu 15.4.2015. <http://africa.biagroup.com/activities/mines/>

Lähteenmäki, M. Elementtimenetelmän perusteet. Viitattu 21.4.2015.

http://personal.inet.fi/koti/mlahteen/arkistot/elpe_pdf/johdanto.pdf

Outinen, H. & Tapio S. 2004. Lujuusopin Perusteet. Tampere: Pressus Oy.

Sandvik 2014. Viitattu 14.4.2015.

<http://www.miningandconstruction.sandvik.com/fi>

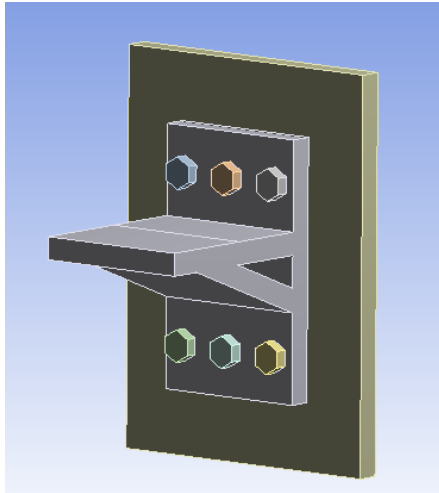
Sandvik 2015. Sandvik Group presentation. Viitattu 14.4.2015.

<http://www.sandvik.com/globalassets/media/about-sandvik/our-company/company-presentations/sandvik-group-presentation-slides.pdf>

Sandvik 2015. Viitattu 15.4.2015. <http://www.sandvik.com/en/about-us/our-company/business-areas/>

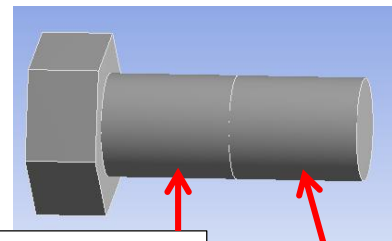
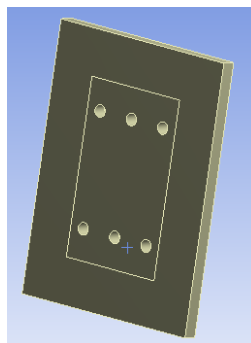
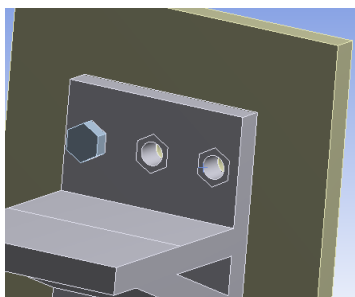
Sandvik 2015. Sandvik Intranet. viitattu 14.4.2015.

LIITE 1. PULTTILIITOS



1. Pintojen jakaminen

Kappaleen pinnat jaetaan, jotta voidaan helposti osoittaa kontaktipinnat ja tehdä verkotuksen tihenyksiä.

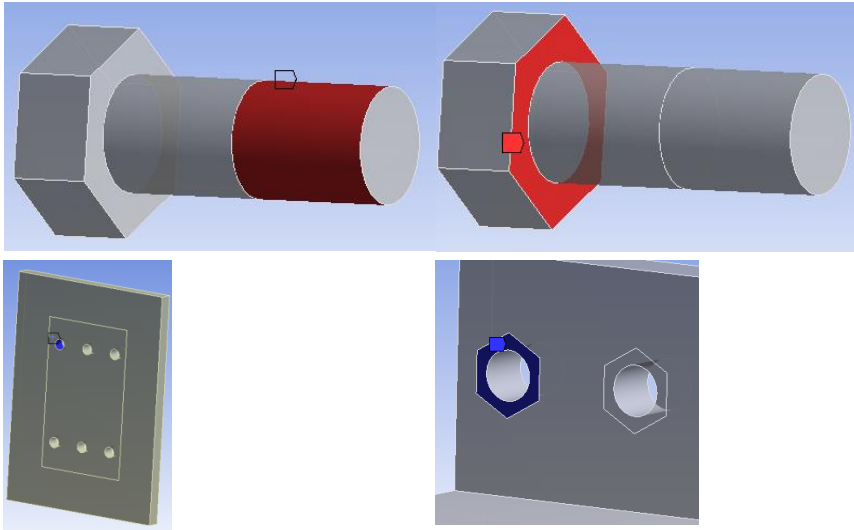


vapaa pinta

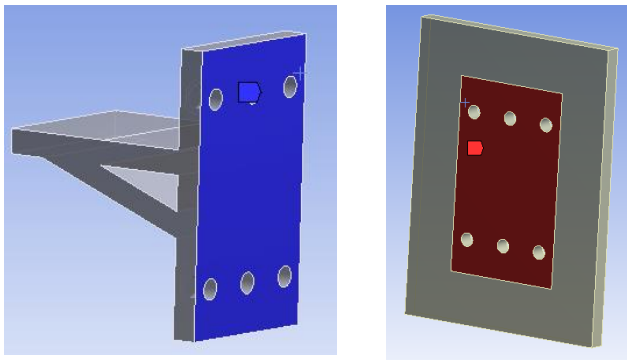
pituus jolta pultti
on kierretty vas-
takappaleeseen

Laskettavan pultin kantageometria ei tarvitse olla 6-kulmainen, se voi myös olla sylinteri jolloin malli on yksinkertaisempi ja voi samalla kuvata aluslaatan pinta-alaa

2. Kontaktit



Pultti kiinnitetään lineaarisella kontaktilla (Bonded) kierteen osuudelta vastakappaleeseen ja pultin kannasta korvakkeeseen kannanmuotoiseen jaettuun pintaan. Jaettu pinta voi olla myös suurempi kuin kanta ja mikä tahansa muoto käy, joka kattaa riittävän pinta-alan



Korvakkeen ja vastakappaleen välissä tarvitsee käyttää epälineaarista kontaktia, jotta kappaleet pääsevät erkanemaan ja liukumaan toisiinsa nähden.

Tässä esimerkissä on käytetty Frictionless kontaktia.

Nyrkkisääntönä epälineaarisille kontakteille voidaan pitää, että ennen ensimmäistä laskentakierrosta muutetaan alla näkyvässä kuvassa olevat kohdat, jotta laskenta helpottuisi. Tätä neuvoa tulee kuitenkin käyttää harkiten ja miettiä tarkkaan sallitaanko tuloksiin pieniä vääristymiä, joita asetusten muuttaminen aiheuttaa.

Details of "Frictionless - BG00570321 (9) To BG00568794 (8)"	
Target	1 Face
Contact Bodies	BG00570321 (9)
Target Bodies	BG00568794 (8)
Definition	
Type	Frictionless
Scope Mode	Manual
Behavior	Program Controlled
Trim Contact	Program Controlled
Suppressed	No
Advanced	
Formulation	Augmented Lagrange 1
Detection Method	Program Controlled
Penetration Tolerance	Program Controlled
Normal Stiffness	Manual 2
Normal Stiffness Factor	0,9 2
Update Stiffness	Each Iteration 3
Stabilization Damping Factor	0,
Pinball Region	Program Controlled

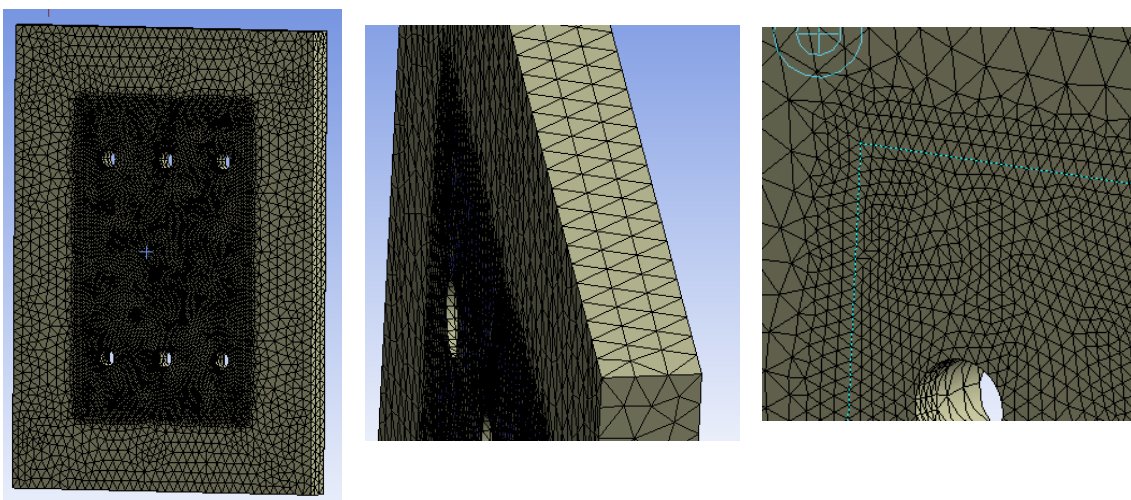
Formulation (1) valitaan formulaatio jolla kontakti lasketaan.

Normal stiffness (2) määrää kuinka jäykkä kontakti on eli käytännössä painuuko kappaleet sisäkkäin.

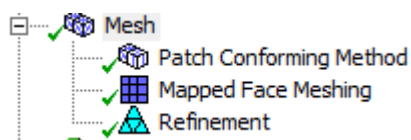
Update Stiffness (3) voidaan valita kuinka usein kontaktipintojen jäykkyys päivitetään.

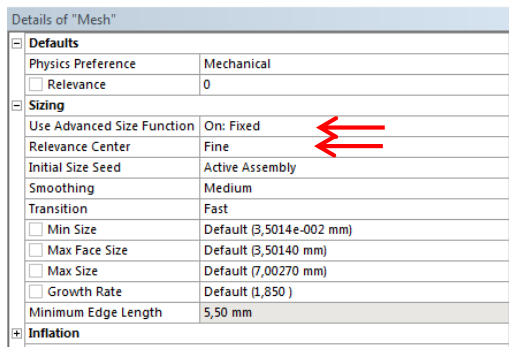
3. Verkotus

Verkotusta tehdessä on erityisesti otettava huomioon epälineaarisen kontaktin verkotus, jotta verkosta tulisi mahdollisimman tasalaatuista ja tarpeeksi tiheää. Jos laskenta ei näytä menevän lävitse kohtuullisessa ajassa, syy voi löytyä epälineaaristen kontaktien verkotuksesta, niitä parantamalla laskenta helpottuu. Kontaktipintoja verkottaessa hyvä työkalu on Contact Sizing. Tässä esimerkissä sitä ei kuitenkaan käytetty, jotta voitiin käyttää muita työkaluja verkon tekemiseen. Joissakin tapauksissa, jos on iso kappale ja verkotettava kontaktipinta on pieni, niin kyseinen komento voi tehdä verkontihennyksen turhan suurelta alueelta.

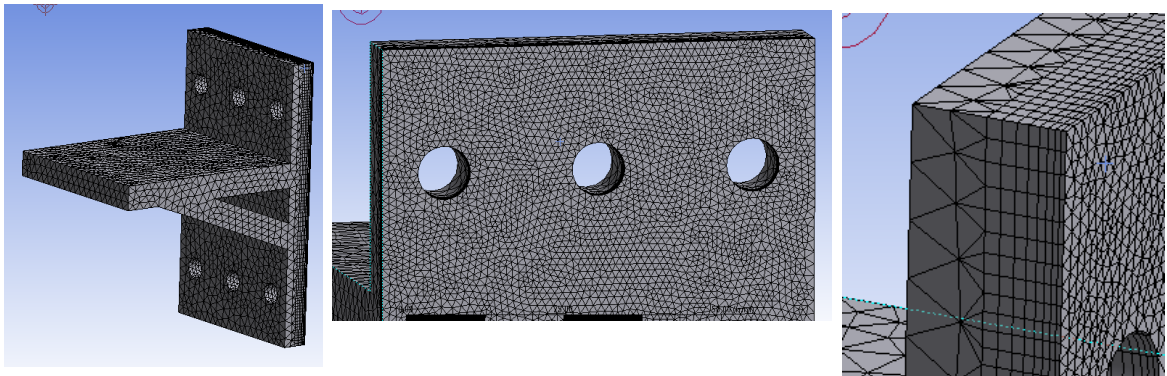


Yllä olevissa kuvissa näkyy vastakappaleen verkotus. Epälineaarisen kontaktin verkotus tehtiin käyttämällä Refinement komentoa ja muu verkko säädettiin sopivaksi Globaaleista verkonasetuksista.

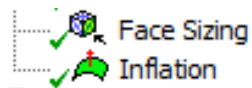


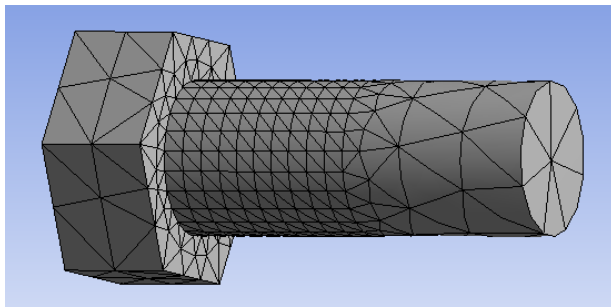


Yleisen verkon elementtikoko saatiin sopivaksi muuttamalla verkon yleisasetuksista nuolien osoittamat kohdat. (Nämä yleisasetukset vaikuttavat myös kaikkiin muihin verkotettaviin kappaleisiin)

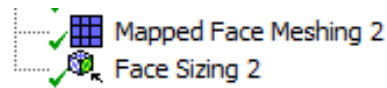


Korvakkeen verkotuksessa käytettiin face Sizing ja Inflation komentoja. Yleiset verkon asetukset, jotka säädettiin vastakappaletta verkottaessa vaikuttavat tähänkin kappaleeseen, joten ainoastaan epälineaariseen kontaktipinnalle tehtiin verkon tihennystä.



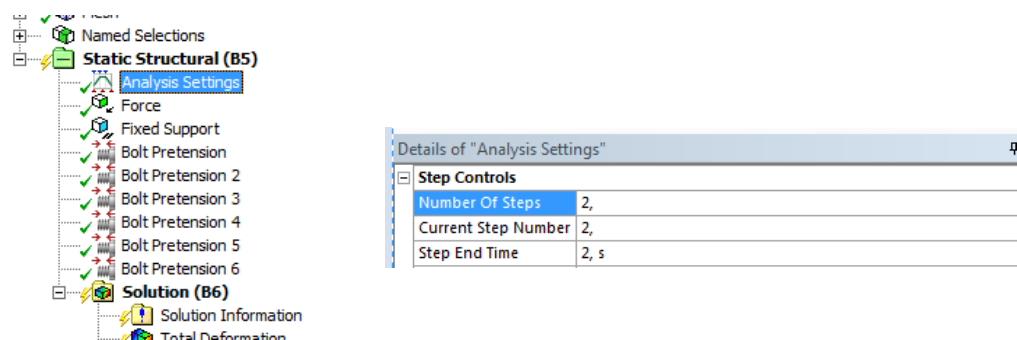


Pulttia verkotettaessa käytettiin Mapped Face Meshing ja Face Sizing työkaluja. Pultin vapaaseen kohtaan tarvitsee tehdä tiheämpää ja tasalaatuista verkkoa, koska siitä kohdasta ohjelma laskee pulttiin kohdistuvia rasituksia.



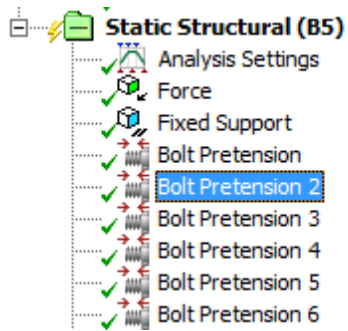
4. Voimat ja reunaehdot

Pulttiliitoksia käytettäessä tai laskettaessa pulttivoimia tarvitsee ulkoiset kuormat tuoda kahdessa eri stepissä. Ensimmäisessä kiristetään pultit esikiristysvoimaan ja sen jälkeen tuodaan kappaleeseen kohdistuva ulkoinen voima.

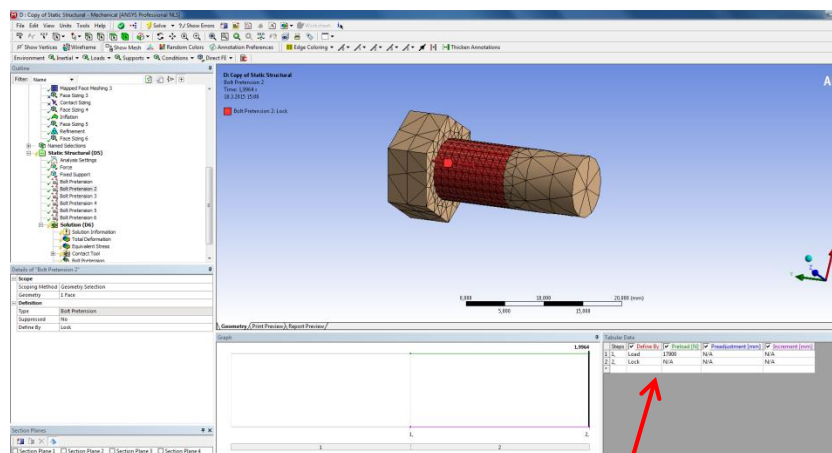
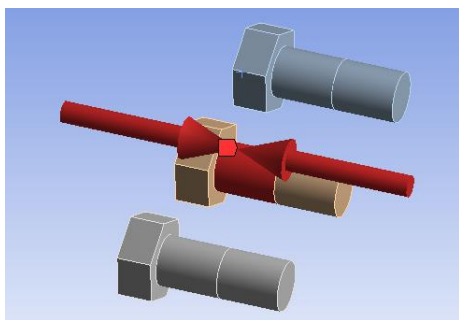


Klikkaamalla Analysis Setting aukeaa Details ikkuna, jossa voi lisätä uusia steppejä Number Of Steps kohtaan.

Pulttien esikiristys



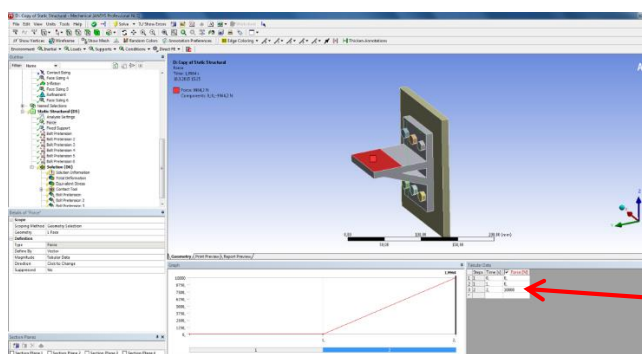
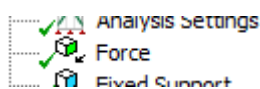
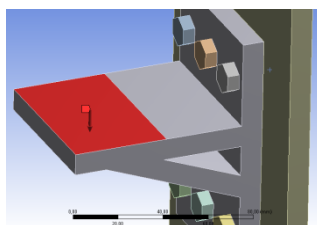
Details of "Bolt Pretension 2"	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Face
Definition	
Type	Bolt Pretension
Suppressed	No
Define By	Lock



Tabular Data				
	Steps	<input checked="" type="checkbox"/> Define By	<input checked="" type="checkbox"/> Preload [N]	<input checked="" type="checkbox"/> Preadjustment [mm]
1	1,	Load	17900	N/A
2	2,	Lock	N/A	N/A
*				

Pulttien esikiristysvoiman asettaminen onnistuu lisäämällä Bolt Pretension -voima piirrepuusta. Tämän jälkeen valitaan haluttu pinta johon voima luodaan ja ruudun oikeaan alanurkkaan ilmestyvään Tabular Data taulukkoon lisätään steppiin 1 Preload kohtaan pultin esikiristysvoima. Steppi numero 2 tulee lukita klikkaamalla kyseistä kohtaa taulukosta ja valitsemalla Lock. Tällä tavalla kerrotaan ohjelmalle, että ruuvit pysyvät kiinni. Jos tarkoituksena on tutkia miten kokoonpano toimii esimerkiksi osan pulteista katkettaessa ulkoisen voiman vaikutuksesta, silloin tarvitsee lisätä kolmas steppi ja siitä avata halutut pultit, jolloin kokoonpano käyttäytyy kuin pultit menisivät poikki.

Ulkoinen voima



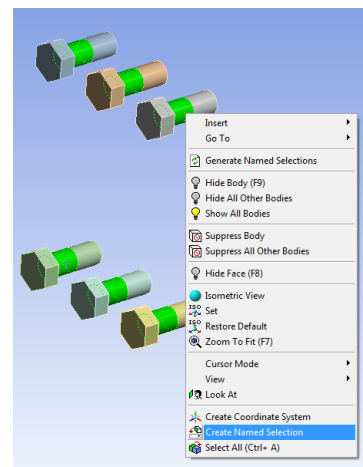
Tabular Data			
	Steps	Time [s]	Force [N]
1	1	0,	0,
2	1	1,	0,
3	2	2,	10000
*			

Esimerkissä ulkoinen voima on pystysuoraan ja suuruudeltaan 10kN korvakkeeseen kohdistuva voima. Ulkoinen voima asetetaan Tabular Data taulukon steppiin numero 2

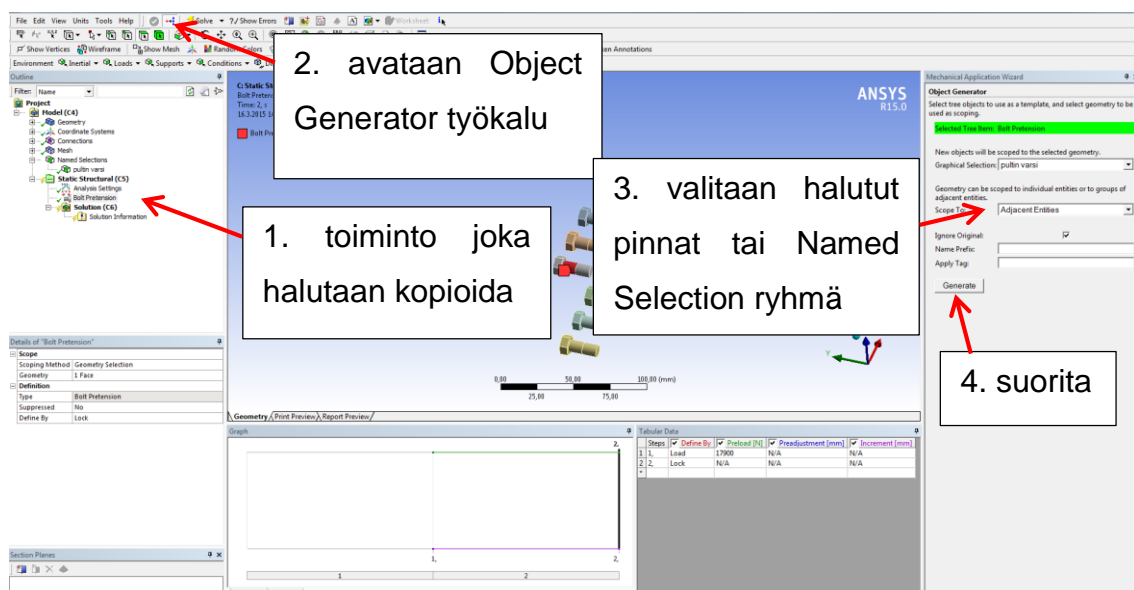
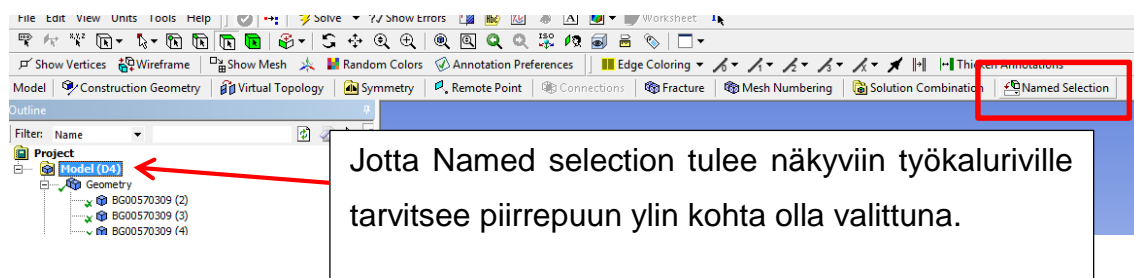
Jos kokoonpanossa on esimerkiksi 300 pulttia ja kaikkiin tulee samanlainen esikiristys, helpoin tapa tehdä tämä on käyttää apuna Object Generator työkalua.

Hyvä apu Object Generatorin käyttöön on Named Selection valinnat joilla pystytään hallitsemaan suuriakin valinta ryhmiä.

Uusi Named Selection ryhmä luodaan valitsemalla halutut pinnat/kappaleet ja klikkaamalla oikealla jonkin valitun pinnan päällä jolloin valikosta löytyy valinta Greate Named Selection. Named Selection ryhmiä voidaan luoda myös perinteisesti piirrepuun kautta tai tehdä valmiiksi jo NX:ssä. Piirrepuusta lisäättäessä Named Selection kohta tarvitsee lisätä erikseen ensin työkalurivistön alimalta riviltä.

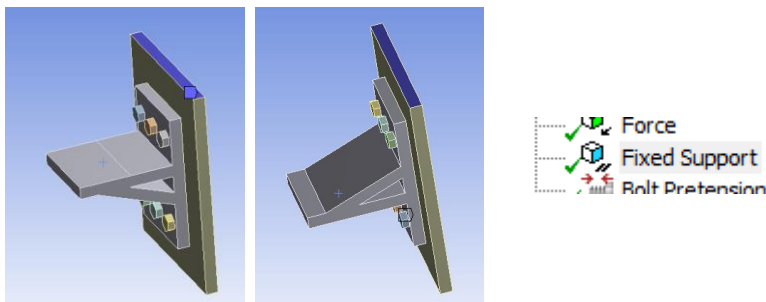


Alimmassa kuvassa on kuvattu Object Generatorin toiminta.



Kun ensimmäiseen pulttiin on luotu esikiristys voima, voidaan se muutamalla klikkauksella kopioida jokaiseen valittuun pintaan tai haluttuun Named Selection ryhmään. Alla olevassa kuvassa näkyy Object Generator työkalun toiminta.

Kappaleet tarvitsee aina kiinnittää jotenkin, jotta laskenta onnistuisi ja ulkoiselle kuormalle tulisi vastustava voima. Tässä esimerkissä vastakappale kiinnitettiin jäykästi ylä- ja alapinnasta Fixed Supportilla.



5. Tulokset

Laskenta onnistuu klikkaamalla hiiren oikealla Solution välilehteä ja valitsemalla Solve. Laskennan läpimentyä pultteihin kohdistuvat voimat saadaan näkymään raahaamalla halutun pultin Bolt Pretension voima Solution välilehden päälle, jolloin ohjelma luo automaattisesti sitä pulttia koskevan Bolt Pretension tuloksen.

Named Selections
Static Structural (B5)
 Analysis Settings
 Force
 Fixed Support
 Bolt Pretension
 Bolt Pretension 2
 Bolt Pretension 3
 Bolt Pretension 4
 Bolt Pretension 5
 Bolt Pretension 6
Solution (B6)
 Solution Information
 Total Deformation
 Equivalent Stress
 Contact Tool
 Status
 Pressure
 Sliding Distance
 Gap
 Penetration
 Bolt Pretension
 Bolt Pretension 2
 Bolt Pretension 3

Details of "Bolt Pretension 3"

Definition	
Type	Bolt Pretension
Boundary Condition	Bolt Pretension
Suppressed	No

Options

Display Time	End Time
--------------	----------

Results

Adjustment	6,4432e-002 mm
Working Load	18060 N

Minimum Value Over Time

Maximum Value Over Time

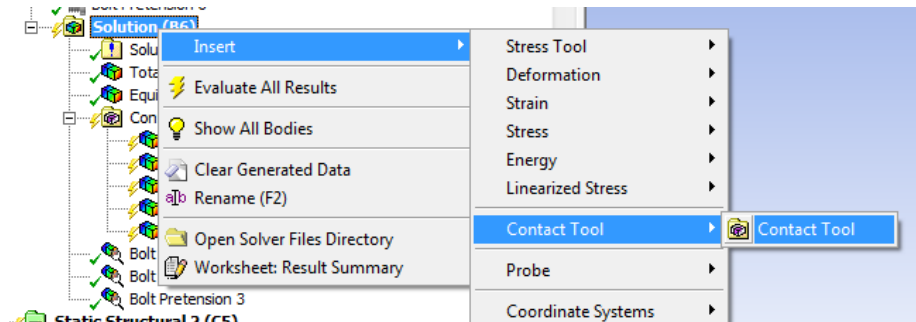
Information

Tabular Data

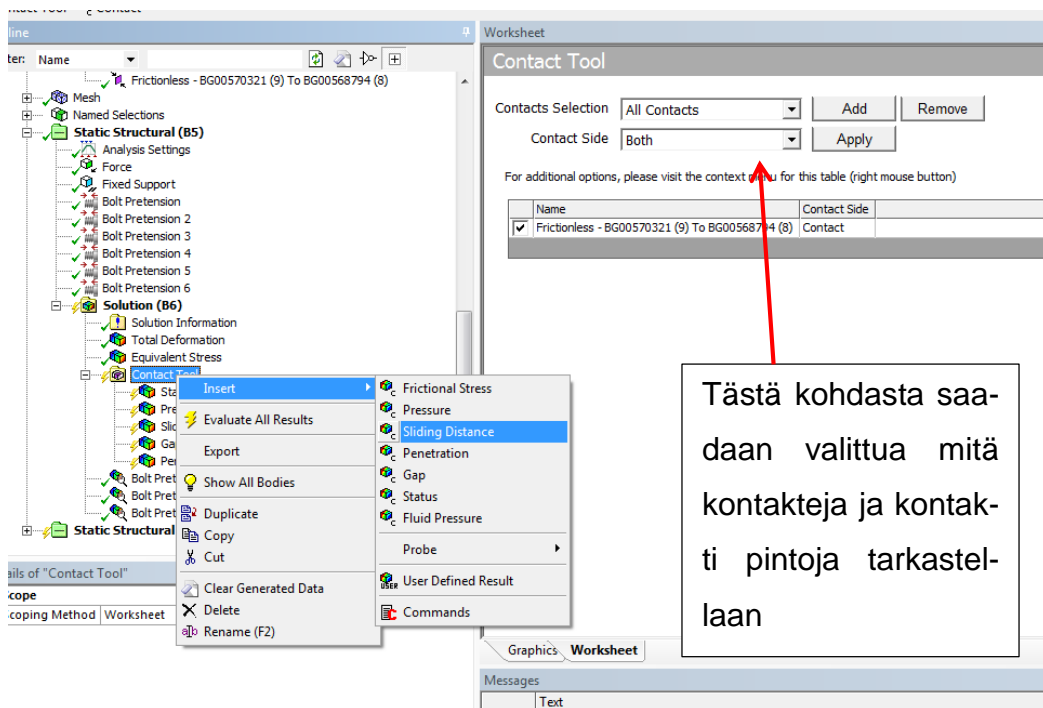
Time [s]	Bolt Pretension 3 (Adjustment Reaction)	Bolt Pretension 3 (Working Load)
1	6,4432e-002	0
2	6,4432e-002	18060

Pulttiin kohdistuva voima

Kontaktipintoihin vaikuttavia voimia voidaan tutkia Contact Toolin avulla.



Kun Contact Tool välilehti on luotu, voidaan sieltä lisätä haluttuja tuloksia.



Esimerkiksi, jos halutaan tarkastella pintapainetta kontaktissa se onnistuu Contact Toolin Pressure työkalulla. Contact Toolin asetuksista tarvitsee valita haluttu kontakti, tässä tapauksessa se on epälineaarinen kontakti korvakkeen ja vastakappaleen välissä.

